Ferdowsi Civil Engineering, 37, 3, 2024. (61-76)

Ferdowsi University of Mashhad

Ferdowsi Civil Engineering

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir

Iranian Concrete Institute

Pavement Engineering Association of Iran

Effect of the Method of Using Waste Carbonate Cake on the Compressive and Tensile Strengths of Green Concrete

Research Article

Zahra Heydari[1], Rasoul Shadnia[2], Davood Mostofinejad[3], Shadzi Rezaei[4]

DOI: 10.22067/jfcei.2024.88715.1307

1. Introduction

Despite the advancement of science and the industrialization of societies, the generation of massive wastes from industries is a serious concern because much of this waste contain chemicals harmful to the environment. Recycling and reuse of waste, in addition to economic savings, also has environmental benefits. The construction industry is known as a good place to accept recycled materials. The use of recycled materials in concrete helps to improve its properties and has become more important due to cost reduction and compatibility with the environment. However, there is very little research on the use of sugar waste, especially carbonate cake, in the construction industry. By filling the research gap between this calcareous gold and construction materials and blossoming the application potentials of sugar waste, especially carbonate cake, an environmentally friendly green concrete can be produced. One of the best places is to use these materials instead of cement because cement itself is a big pollutant for the environment, and as a result, the recycling value multiplies.

According to the literature, it is clear that waste carbonate cake can replace a percentage of cement used in concrete. However, in the studies, the method of using carbonate cake in the concrete mixing plan and in other words determining the best way to use it has not been mentioned. Therefore, in this article, three different methods of using carbonate cake in making concrete, including dissolving in water of mixing plan, sieving, and grinding were examined, and the best method of use has been introduced. In order to achieve this goal, first, a mixing plan was prepared with a water to cement ratio of 0.35 and concrete samples were made with the percentages of replacing carbonate cake instead of cement equal to 5, 10, 20, 30, and 40, and finally, the compressive strength of 28- and 56-day samples were evaluated for all three methods of dissolving in water, sieving, and grinding. To determine the tensile strength of the samples, the Brazilian test was performed on the samples made only by the optimal method (milled method) with different percentages of carbonated lime waste and the 28-day tensile strength of the samples was measured.

2. Experimental Program

The aggregates in different sizes were obtained from the mines of Isfahan city, Iran. Drinking water was also used and the maximum ratio of water to cement in mixing plans was considered to be 0.35. Moreover, type 2 Portland cement manufactured by Ardestan Cement Factory located in Isfahan, Iran, was used. The carbonate cake produced in Naqsh Jahan factory in Isfahan was utilized as a substitute for cement in concrete production. The mixing plan of samples is shown in Table 1.

Table 1: Details of the concrete mixing plan with different percentages of carbonate cake (kg per cubic meter of concrete)

Mix code	PC	CK	Water	Sand	Fine agg.	Coarse agg.
CK0	400	0	152.4	1075	400	250
CK5	380	20				
CK10	360	40				
CK20	320	80				
CK30	280	120				
CK40	240	160				

3. Results and Discussion

- Compressive strength

Carbonated lime powder from sugar factories was replaced with cement in three ways in green concrete, and the compressive strength results were investigated and evaluated (Figures 1 and 2). The results indicated that the method of dissolving carbonated lime in the mixing design water had the lowest compressive strength. In the mixing plan with the dissolving method, the water was absorbed by the carbonated lime powder and there was not enough moisture to mix and lubricate other components, such as cement and aggregates. Another reason for this significant decrease in compressive strength can be considered the chemical reactions created between water and carbonate cake. Due to the high calcareous property of the carbonate cake, by dissolving in the water of the mixing plan, the

*Manuscript received June 28, 2024, Revised July 24, 2024, Accepted September 3, 2024.

[1] Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

[2] Corresponding author. Associate Professor, Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Iran.
Email: r.shadnia@hsu.as.ir

[3] Professor, Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

[4] Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

calcareous material blooms and this further reduces the strength of the concrete.

The results obtained from concrete produced with carbonate cake by sieving method also showed a decrease in the compressive strength of concrete samples containing waste powder compared to the control samples without powder. In this method, the strength reduction rate was better than the dissolved method as the materials that remain on the sieve are mainly limestone lumps that are separated from the waste powder by the sieve. This causes the difference between the mixture and the original sample and the reduction of its lime percentage will result in a decrease in concrete strength.

The results in all three methods indicated a decrease in the compressive strength of the samples with the addition of carbonate cake to the concrete mixture. However, the use of carbonate cake by grinding method was the best technique of using carbonate cake in concrete because the calcareous property of the material was preserved and it showed the best chemical reaction in the formation of concrete when combined with water and other materials.

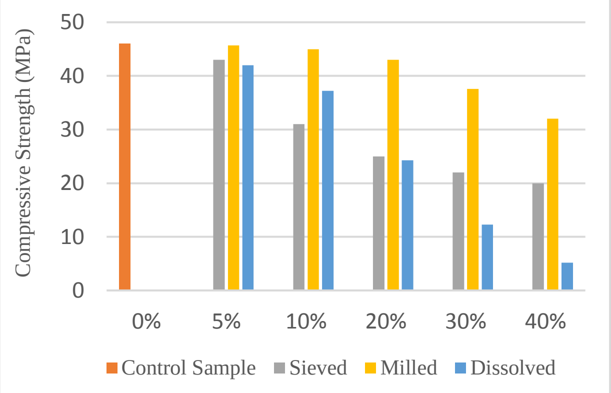


Figure 1. 28-day compressive strength of concrete samples with different percentages of carbonate cake

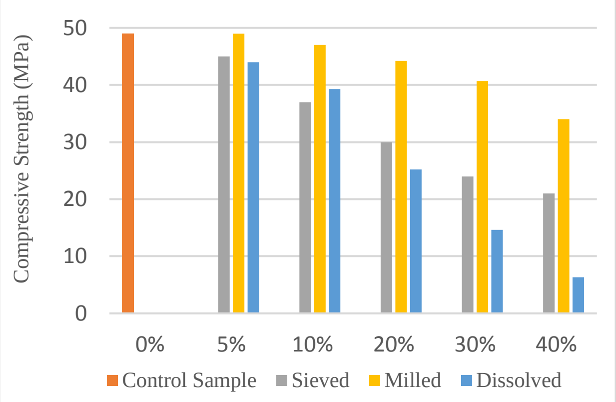


Figure 2. 56-day compressive strength of concrete samples with different percentages of carbonate cake

- Tensile Strength

In the previous step, the grinding method was recognized as the best method for adding carbonate cake powder to concrete. Therefore, to determine the tensile strength of concrete, carbonate cake powder was added to concrete only by the grinding method. The results of the samples subjected to the Brazilian tensile test (Figure 3) showed that the replacement of carbonated lime residue with a certain amount of cement does not significantly reduce the tensile strength of ordinary concrete.

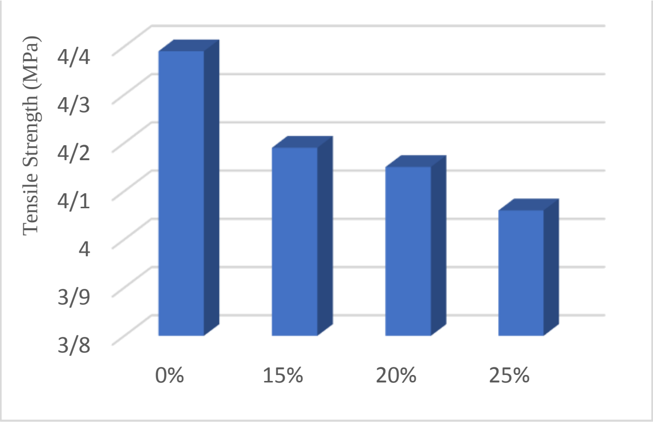


Figure 3. Tensile strength diagram according to different percentages of calcium carbonate cake

4. Conclusion

In this research, to determine the best method of adding carbonate cake to concrete, carbonate cake was used with three different methods, including dissolving in water of mixing plan, sieving, and grinding. After conducting laboratory tests to determine compressive and tensile strengths with different percentages of carbonate cake, the following results were obtained:

- The worst results were related to concrete samples made with carbonate cake dissolved in water. The results of the compressive strength of the samples made by this method indicated a significant decrease in the compressive strength of the samples with the increase of carbonate cake in the concrete mixture.
- The best method to use carbonate cake in concrete was to use milled carbonate cake, and it can be replaced by at least 20% of the weight of cement, without significantly reducing the strength of concrete.
- The tensile strength of the concrete samples declined with the rise in carbonate cake powder compared to the control sample, but this decrease was not significant until the substitution of 20% of the weight of carbonate cake in the concrete strengthening part.
- It seems that carbonate cake is also used in other building materials due to its calcareous properties and can be traced from this point of view.
- It is worth mentioning that the carbonate cake recycling causes reduction in industrial waste, waste transportation cost, waste disposal cost, and removing inappropriate smell and organic materials. Therefore, the use of this green concrete in the construction industry is recommended.

مهندسی عمران فردوسی

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir/

انجمن مهندسی روسازی ایران

انجمن بتن ایران

تأثیر روش استفاده از کیک کربناته ضایعاتی بر روی مقاومت فشاری و کششی بتن سبز*

مقاله پژوهشی

زهرا حیدری[۱] رسول شادنیا[۲] داود مستوفی نژاد[۳] شادزی رضایی[۴]

DOI: 10.22067/jfcei.2024.88715.1307

چکیده حجم زیادی از ضایعات کارخانه‌های قند به صورت پسماند انباشت می‌شود. این پسماند، کیک کربناته (گل کربنات‌کلسیم، آهک کربناته و لجن‌آهک) نام دارد و تولید آن معظل جدی این کارخانجات و محیط زیست است. هدف تحقیق حاضر، بازیافت این پسماند حجیم به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مورد استفاده در بتن می‌باشد. به دلیل اندازه ناهمگن ذرات و برای شباهت بیشتر اندازه دانه‌های آن با ذرات سیمان، کیک کربناته با سه روش حل شده در آب طرح اختلاط، الک شده وآسیاب شده در طرح‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های بتنی آزمایشگاهی با نسبت آب به سیمان ۰٫۳۵ و با درصدهای مختلف جایگزینی کیک کربناته به جای سیمان برابر با ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ساخته شده و در نهایت مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه و مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه سنجیده شد. نتایج نشان داد که بهترین روش استفاده از کیک کربناته در بتن، استفاده از کیک کربناته آسیاب شده می‌باشد و جایگزینی آن تا حداقل ۲۰ درصد وزنی سیمان با این روش، بدون کاهش چشم‌گیر مقاومت‌های فشاری و کششی در بتن امکان‌پذیر می‌باشد. به صورت کمی نتایج حاکی از آن است که مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه و مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر در این روش، به ترتیب حدود ۶٫۵، ۱۰ و ۵٫۴ درصد کاهش داشته‌اند. شایان ذکر است که بازیافت کیک کربناته سبب کاهش در پسماندهای صنعتی، هزینه حمل و نقل ضایعات، هزینه دفن پسماندها و حذف بوی نامناسب و مواد آلی نیز می‌گردد. لذا استفاده از این بتن سبز در صنعت ساختمان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی ضایعات کارخانه قند، بازیافت، کیک کربناته، مقاومت، بتن سبز.

The Effect of the Method of Using Waste Carbonate Cake on the Compressive and Tensile Strengths of Green Concrete

Zahra Heydari Rasoul Shadnia Davood Mostofinejad Shadzi Rezaei

Abstract *A large amount of waste from sugar factories is accumulated as waste. The purpose of this research is to recycle the waste of these factories, called carbonate cake (calcium carbonate mud, lime carbonate and lime sludge), which production is a serious problem for these factories and the environment, as a substitute for part of the cement used in concrete. Due to the heterogeneous size of the particles and for the greater similarity of the size of its grains with cement particles, carbonated cake with three methods:dissolved in water of mixing plan,sieved and milled, was used in different designs. Laboratory concrete samples were made with a water-cement ratio of 0.35 and with different percentages of replacing carbonate cake instead of cement equal to 5, 10, 20, 30 and 40, and finally, the compressive strength of the 28- and 56-day samples and the tensile strength of the 28-day samples was measured. The results showed that the best method of using carbonated cake in concrete is to use milled carbonated cake and it is possible to replace it up to at least 20% by weight of cement, without significantly reducing the compressive and tensile strengths in concrete. Quantitatively, the results indicate that the compressive strength of the 28-day and 56-day samples and the tensile strength of the 28-day samples with 20% waste powder instead of cement have decreased by 6.5, 10, and 5.4%, respectively, compared to the control samples without powder. It is worth mentioning that the carbonate cake recycling causes reduction in industrial waste, waste transportation cost, waste disposal cost and removing inappropriate smell and organic materials. Therefore the use of this green concrete in the construction industry is recommended.*

Key words Sugar factory waste, Recycling, Carbonate cake, Strength, Green concrete.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۳/۴/۸ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۶/۱۳ می‌باشد.

(۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه حکیم سبزواری.

(۲) نویسنده مسئول: دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، **Email**: r.shadnia@hsu.ac.ir

(۳) استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

(۴) دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه حکیم سبزواری.

مقدمه

با وجود پیشرفت علم و صنعتی شدن جوامع، تولید زباله‌های انبوه از صنایع یک نگرانی جدی است، زیرا بسیاری از این زباله‌ها شامل مواد شیمیایی مضر برای محیط زیست هستند. بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات، علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی، فواید زیست‌محیطی نیز دارد. صنعت ساختمان به عنوان جایی مناسب برای پذیرش مواد بازیافتی شناخته شده است. استفاده از پوزولان‌ها (مواد بازیافتی) در بتن، به بهبود خواص آن کمک می‌کند و به دلیل کاهش هزینه‌ها و سازگاری با محیط زیست، اهمیت بیشتری یافته است. با این حال، تحقیق درباره استفاده از ضایعات قندی در صنعت ساخت و ساز کم است. این تحقیق در تلاش است تا با بررسی پتانسیل‌های کاربردی این ضایعات، بتنی سازگار با محیط زیست تولید کند و مشکلات ناشی از سیمان را که خود آلاینده‌ای بزرگ است، کاهش دهد. استفاده از پوزولان‌های آلی در بتن به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در بهبود خواص آن در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از شیوه‌های افزودن این پوزولان‌ها به بتن، سوختن آن‌ها در کوره و سپس آسیاب کردن می‌باشد. پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی به طور گسترده در مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند و نقش مهمی در به حداقل رساندن هزینه‌ها ایفا می‌کنند و در سال‌های اخیر به ویژه در دهه‌های اخیر به دلیل تمرکز بر سازگاری با محیط زیست و نیاز به مواد ساختمانی با خواص بهبود یافته، اهمیت بیشتری پیدا کرده‌اند [1,2]. تأثیر ضایعات پوزولانی بر خواص مکانیکی، دوام و ریزساختار ملات سیمانی تحت تأثیر استفاده از مواد زاید بازیافتی در ملات‌های سیمانی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است [3,4]. اما متأسفانه در زمینه بازیافت پسماندهای کارخانجات قندی و امکان استفاده گسترده از این مواد ضایعاتی در صنعت ساخت و ساز پژوهش چشم‌گیری تا کنون دیده نشده است.

تحقیق حاضر با پر کردن شکاف تحقیقاتی بین این طلای آهکی و مصالح ساختمانی و شکوفا شدن پتانسیل‌های کاربردی ضایعات قندی به ویژه کیک کربناته (شکل ۱)، سعی در تولید بتن سبز سازگار با محیط زیست را دارد. یکی از بهترین جایگاه‌ها، استفاده از این مواد به جای سیمان است؛ زیرا خود سیمان یک آلاینده بزرگ برای محیط‌زیست می‌باشد و در نتیجه ارزش بازیافت چند برابر می‌شود.



شکل ۱.کیک کربناته ضایعات کارخانجات قند

در طول فرایند تولید و بهره‌برداری کارخانجات قند مقدار زیادی ضایعات از جمله تفاله، ملاس و کیک کربناته تولید می‌شود که از این پسماند می‌توان به عنوان مواد اولیه برای تولید محصولات دیگر با ارزش بالا استفاده کرد. به تازگی پژوهش‌هایی به چگونگی استفاده از ملاس در تهیه سیمان، ملات و بتن پرداخته است [5-7] و پژوهش‌های دیگری نیز بر روی استفاده مجدد از تفاله در صنایع دیگر [8-12] و مخصوصا صنایع غذایی [13-15] متمرکز شده است.

پسماند آهک کربناته یکی از محصولات زاید کارخانجات قند است که به طور معمول در حجم وسیع انباشت می‌شود و به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ایام اوج کاری، روزانه حداقل ۸۰ تن کیک کربناته تولید می‌شود که انباشت آن باعث آلودگی محیط زیست و مشکلات جدی برای دفع در کارخانجات قند شده است. این وضعیت حتی منجر به تعطیلی برخی کارخانه‌ها و ثبت نام آن‌ها در لیست سیاه سازمان محیط زیست ایران شده است. برای فرار از این مشکل، برخی کارخانه‌ها اقدام به دفن یا انتقال این مواد به مناطق دیگر کرده‌اند که این کار آسیب‌های جدی به محیط زیست و جانوران وارد می‌کند. همچنین، پسماندهای خشک شده به صورت پودری ریز در محیط پراکنده می‌شوند و وجود مزارع چغندر قند در کنار این کارخانه‌ها، باعث مسدود شدن منافذ خاک و اختلال در رشد گیاهان می‌شود. با انجام این پژوهش پیش‌بینی می‌شود با ورود کیک کربناته به صنعت ساخت و ساز بتوان حجم عظیمی از این ضایعات را مصرف و بازیافت کرد و مشکل انباشت این پسماند را که برای محیط اطرافشان مشکل‌ساز شده تا اندازه‌ای مرتفع کرد و موجبات سودآوری را برای هر دو صنعت فراهم نمود. از طرف دیگر

استفاده از هر ماده دورریز در بتن مستلزم شناخت کافی و تخصصی در مورد آن است. اطمینان از دوام و ایمنی ضایعات مصرفی در بتن، نیاز به مطالعه همه‌جانبه دارد و استفاده از پژوهش‌های گذشته به این امر سرعت می‌بخشد.



شکل ۲ انباشت کیک کربناته، ضایعات کارخانه قند در حیاط و محوطه بیرونی کارخانجات

اگرچه کربنات کلسیم رسوب کرده در کارخانجات قند، به خاطر جذب ناخالصی‌های ناشی از آلودگی‌های غیر قندی در طول فرایند تصفیه شکر، با کربنات کلسیم اصلی متفاوت است، اما از آنجایی که این ضایعات منشأ آهکی دارند، بررسی نتایج پژوهش‌هایی که در آن‌ها کربنات کلسیم جایگزین سیمان در تولید بتن شده، می‌تواند سودمند باشد [16-21]. اخیرا پژوهش‌هایی بر روی تأثیر استفاده از پسماند آهک کربناته به عنوان تثبیت کننده خاک [22]، کامپوزیت‌های اپوکسی [23]، بر روی پارامترهای مختلف ژئوپلیمرها [24,25]، بتن‌های پلیمری [26]، سیمان [27]، به عنوان سنگدانه در ساخت بتن [28,29] و به عنوان جایگزین سیمان در ساخت بتن [30,31] انجام شده است. غریب و راشد [30] و نیز فویال و همکاران [31] جز معدود کسانی هستند که تا کنون استفاده مجدد از پسماند آهک کربناته را در تولید بتن بررسی کرده‌اند. غریب و راشد با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی، تأثیر جایگزینی این پسماند به جای ۵ تا ۲۵ درصد وزنی سیمان بر روی مقاومت فشاری، وزن مخصوص، جذب آب و تخلخل بتن را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بهترین مقاومت فشاری بتن مربوط به نسبت جایگزینی ۵ درصد می‌باشد و جایگزینی مقادیر بیشتر پسماند آهک کربناته باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود. فویال و همکاران با جایگزین کردن ۰ تا ۱۰۰ درصد سیمان با پسماند آهک کربناته و بررسی مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی بیان کردند که افزایش درصد جایگزینی باعث کاهش مقاومت بتن می‌گردد.

هر چند از بررسی پژوهش‌های پیشین و تلاش محققان این نکته بر می‌آید که استفاده از کیک کربناته ضایعاتی می‌تواند جایگزین درصدی از سیمان مورد استفاده در بتن باشد، ولی در این پژوهش‌ها به نحوه استفاده از کیک کربناته در طرح اختلاط بتن و به بیان دیگر تعیین بهترین روش استفاده از آن اشاره‌ای نشده است. لذا در این مقاله، تلاش شده است ضمن بررسی سه روش متفاوت استفاده از کیک کربناته در ساخت بتن شامل حل کردن در آب طرح اختلاط، الک کردن وآسیاب کردن بهترین روش استفاده معرفی گردد. طبق بررسی‌های میدانی، در شهر اصفهان هم اکنون سه کارخانه قند فعال و بزرگ می‌باشد. برای شناخت ماهیت ذرات تشکیل دهنده پسماندها در ابتدای کار، آزمایش‌هایی مانند XRF و ICP انجام شد. در آزمایشگاه طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰,۳۵ تهیه شده و نمونه بتنی با درصدهای جایگزینی کیک کربناته به جای سیمان برابر با ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ساخته شد و در نهایت مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه برای هر سه روش حل کردن در آب طرح اختلاط، الک کردن وآسیاب کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها، آزمایش تست برزیلی بر روی نمونه‌های ساخته شده تنها با روش آسیاب شده با درصدهای مختلف جایگزینی پسماند آهک کربناته انجام و مقاومت کششی ۲۸ روزه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

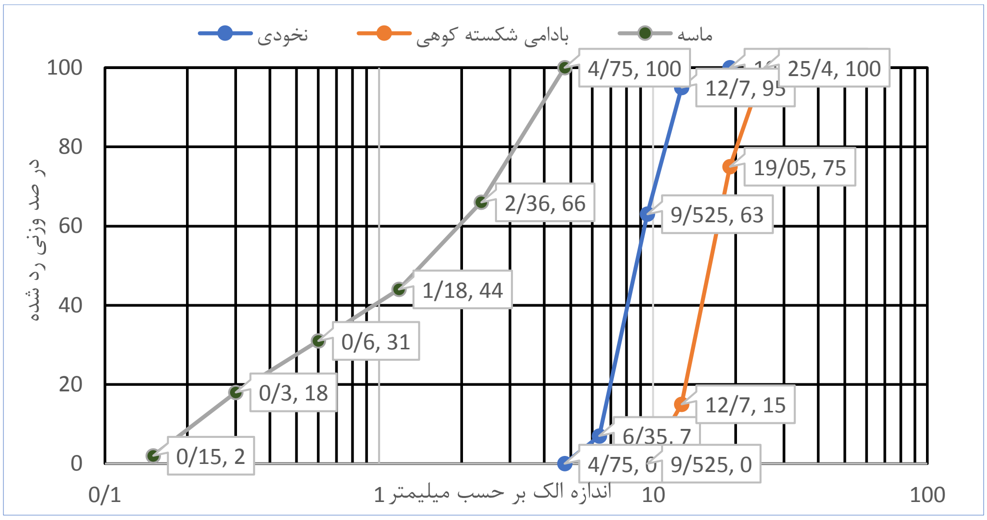
مواد و روش‌ها

مصالح مصرفی

در بازیافت و بهره‌وری مجدد ضایعات، شاخصه‌های مختلفی می‌تواند مورد هدف‌گذاری و مطالعه قرار گیرد. لذا پیش از هر چیز ابتدا به معرفی مصالح مورد استفاده در پژوهش و ویژگی‌های آن‌ها پرداخته می‌شود. دانه‌بندی شن و ماسه مصرفی در طرح‌ها مطابق با استاندارد ملی به شماره ۳۰۲ [32] ارزیابی شد (شکل ۳) و سنگ دانه‌ها در سایزهای نخودی (معدن

مجتمع نور)، بادامی شکسته کوهی (معدن پایا سنگ) و ماسه (معدن مجتمع نور)، از شهر اصفهان تهیه شد. همچنین از آب شرب مصرفی با مشخصات جدول (۱) در آزمایشگاه استفاده گردید و حداکثر نسبت آب به سیمان در طرح‌ها به میزان ۰،۳۵ در نظر گرفته شد. در این تحقیق از سیمان پرتلند نوع ۲ تولیدی کارخانه سیمان اردستان واقع در شهر اصفهان با مشخصات جدول (۲) استفاده شده است. این نوع سیمان برای مصارف عمومی استفاده می‌شود و در زمان گیرش حرارت هیدراتاسیون متوسطی تولید می‌کند. از کیک کربناته تولید شده در کارخانه نقش جهان اصفهان به عنوان جایگزین سیمان در تولید بتن استفاده شده و نتایج آزمایش‌های ICP و XRF برای شناخت ماهیت آن کیک کربناته به ترتیب در جداول (۳) و (۴) آورده شده است.

نتایج آنالیز ICP انجام شده بر روی کیک کربناته مندرج در جدول (۳) نشان می‌دهد بیش از ۱۰ درصد ذرات کیک کربناتـه از کلسیم و بعد از آن بیشترین فراوانی مربوط به عناصری چون منیزیم، آهن، آلومینیوم، سدیم، فسفر، گوگرد، مقدار اندکی روی و... می‌باشد.



شکل ۳ دانه‌بندی مصالح، نخودی، بادامی شکسته کوهی و ماسه

جدول ۱ استاندارد آب آشامیدنی

ویژگی	واحد اندازه‌گیری	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
بو	TON	حداکثر ۱۲ واحد در ۱۲ درجه سلسیوس و حداکثر ۳ واحد در ۲۵ درجه سلسیوس	–
رنگ	TCU	–	۱۵
PH	-	۶،۵–۸،۵	۶،۵–۹
سختی	ppm	۲۰۰	۵۰۰
TDS	ppm	۱۰۰۰	۱۵۰۰
کدورت	NTU	≤ ۱	۵

جدول ۲ مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۲

l.O.I	CaO	Al_2O_3	SiO_2	Cl	Na_2O	MgO	Fe_2O_3	SO_3	C_3A	K_2O	IR
۰،۷	۶۰،۴	۵	۱۹	۰،۰۱۹	۰،۲۵	۱،۹	۳،۸۲	۱،۵	۶،۵	۰،۴۹	۰،۴۶

جدول ۳ نتایج آزمایش ICP کیک کربناته ضایعات قند

Sample								
Sample (کیک کربناته)	Element	Ag	Al	As	Be	Ca	Co	Cr
	DL	0.1	100	0.1	0.2	100	1	1
	Unit: ppm	<0.1	470	2.1	<0.2	>10%	<1	16
Sample (کیک کربناته)	Element	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Na	P
	DL	1	100	100	5	0.1	100	10
	Unit: ppm	11	1039	3684	44	<0.1	295	191
Sample (کیک کربناته)	Element	S	Sr	Ti	V	Zn	Zr	
	DL	50	1	10	1	1	5	
	Unit: ppm	3938	288	56	9	25	<5	

جدول ۴ نتایج آنالیز XRF کیک کربناته ضایعات کارخانه قند

Sample (کیک کربناته)	Element	SiO_2	Al_2O_3	BaO	CaO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	K_2O
	DL	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵
	unit%	۰٫۲۰	۰٫۰۵	<۰٫۰۵	۵۵٫۰۰	<۰٫۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵
Sample (کیک کربناته)	Element	MgO	Mno	Na_2O	P_2O_5	SO_3	TiO_2	LOI
	DL	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵
	unit%	۰٫۷۲	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	۰٫۸۱	<۰٫۰۵	۴۳٫۲۲

طبق نتایج آنالیز XRF مندرج در جدول (۴)، بیشترین فراوانی ذرات تشکیل دهنده کیک کربناته مربوط به آهک (CaO) و LOI (مواد فرار) که معمولاً شامل آب ترکیبی، هیدرات‌ها و ترکیبات حساس به هیدروکسی و دی‌اکسیدکربن که ازکربنات‌ها خارج می‌شوند، می‌باشد.

طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن، روند تعیین نسبت اجزای بتن است، به نحوی که بتن تا حد امکان مقرون به صرفه شود و الزامات مورد نیاز شامل خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام را برآورده نماید. در این پژوهش از روش ملی طرح مخلوط بتن (ویرایش سوم) [33] برای طرح اختلاط بتن استفاده شد. مشخصات مصالح در جدول (۵) و طرح اختلاط نمونه‌ها در جدول (۶) آمده است. در جدول (۶)، PC، CK، Fine agg. و Coarse agg. به ترتیب بیانگر سیمان پرتلند، کیک کربناته، شن نخوری و شن بادامی می‌باشند.

جدول ۵ مشخصات مصالح استفاده شده در بتن در این پژوهش

نوع	چگالی	درصد رطوبت	درصد جذب آب
سیمان	۳٫۱۵		–
ماسه	۲٫۶	۳	۳٫۱
نخودی	۲٫۶	۰	۲
بادامی	۲٫۶	۰	۱٫۶

جدول ۶ جزئیات طرح اختلاط بتن با درصدهای متفاوت کیک کربناته (کیلوگرم در یک مترمکعب بتن)

Mix code	PC	CK	Water	Sand	Fine agg.	Coarse agg.
CK0	400	0	152.4	1075	400	250
CK5	380	20				
CK10	360	40				
CK20	320	80				
CK30	280	120				
CK40	240	160				

کیک کربناته در طرح اختلاط بتن

پس از بررسی پژوهش‌های گذشته در زمینه بازیافت کیک کربناته، مشاهده شد در تحقیقات گذشته از کیک کربناته با ظاهر و شکل دست نخورده آن استفاده شده است. این در حالی است که دانه‌بندی این ماده با سیمان متفاوت است و بافت متفاوتی از سیمان دارد. بررسی‌های میدانی از پودر کربنات کلسیم ضایعاتی سه کارخانه قند بزرگ موجود در شهر اصفهان (کارخانه قند نقش جهان، کارخانه قند اصفهان و کارخانه قند نور سپاهان) نشان داد اندازه اولیه پودر ضایعاتی بعضا به صورت کلوخه‌های با سایزهای بادامی به بالا (شکل ۴) می‌باشد که گاهی بر اثر فشار در هنگام انباشت، متراکم و فشرده و گاه با فشار دست به راحتی خرد می‌شوند.



شکل ۴ دانه‌بندی و ابعاد ذرات کیک کربناته انباشت شده

با توجه به شکل ظاهری کیک کربناته ضایعاتی که مخلوطی از پودر و کلوخه‌های ریز و درشت می‌باشد برای استفاده در طرح به عنوان جایگزین سیمان باید اندازه ذرات یک‌دست و ریزتر و دانه‌بندی آن‌ها یک‌نواخت‌تر شود. بدین منظور سه روش متفاوت استفاده از کیک کربناته در ساخت بتن شامل حل کردن در آب طرح اختلاط، الک کردن و آسیاب کردن مورد استفاده قرار گرفت و نمونه‌های بتنی با درصدهای جایگزینی مختلف پسماند آهک کربناته به جای سیمان (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و۴۰ درصد) تهیه و پارامترهای مختلف دوام و مقاومت، مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش حل کردن. در طرح اختلاط با روش حل کردن آهک کربناته تصمیم بر آن شد که پودر آهک کربناته در آب اندازه‌گیری شده طرح اختلاط حل شود. حل کردن این پودر در آب به دو روش دستی و مکانیکی انجام شد (شکل ۵). در روش دستی، آب اندازه‌گیری شده در طرح را در ظرف ریخته سپس کیک کربناته ضایعاتی کاملا دست نخورده بدون هیچ تغییر شکلی به آن اضافه شده و با یک میله به صورت دستی حداقل به مدت نیم ساعت هم زده شد. مشاهدات عینی حاکی از آن بود که تمام مواد به صورت یک‌دست حل نمی‌شوند و مقداری از آن به صورت کلوخ‌هایی با سایز بادامی همراه با مقداری ناخالصی از بقایای چغندر قند ته ظرف باقی می‌ماند. تمام محلول به مخلوط بتن در میکسر اضافه شد. در روش مکانیکی، از یک هم‌زن برقی برای هم زدن پودر ضایعاتی کربنات کلسیم و آب طرح اختلاط استفاده شد و در هر مرحله حداقل نیم ساعت برای حل کردن پودر از همزن برقی استفاده شد. در این روش محلول یک‌دست و همگن‌تر از طرح قبلی شد و کف ظرف مقدار خیلی کمتر از روش قبلی، کلوخه‌هایی با سایز نخودی وجود داشت.

روش الک کردن. در این روش برای الک کردن پودر ضایعاتی کیک کربناته از الک شماره ۳۰ استفاده شد و به علت عبور خیلی اندک پودر از آن، امکان عبور از الک ریزتر وجود نداشت. الک کردن کیک کربناته بسیار وقت‌گیر می‌باشد و به سختی انجام می‌شود. ضمن اینکه موادی که روی الک باقی می‌ماند عمدتا کلوخ‌های آهکی بوده که با سرند کردن از پودر ضایعاتی جدا می‌شوند و عملا مخلوط الک شده با نمونه اولیه تفاوت داشته و درصد آهک آن کاهش می‌یابد.



شکل ۵ حل‌کردن کیک کربناته در آب طرح اختلاط به دو روش دستی و همزن برقی و افزودن به مخلوط

روش آسیاب‌کردن. در این روش، کیک کربناته ضایعاتی حاصله از کارخانه قند با استفاده از دستگاه آسیاب صنعتی (شکل ۶) خرد و اندازه ذرات آن یک‌دست‌تر و ریزتر گردید. آسیاب کردن پسماند آهک کربناته با دمای محیط و با یک مرتبه عبور از دستگاه انجام شده و تنظیمات سرعت و قدرت دستگاه تا رسیدن به سایز ذرات در حدود ۱۰۰ میکرون انجام شد.



شکل ۶ دستگاه آسیاب صنعتی

آزمایش‌های انجام شده

آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش‌های مقاومت فشاری در این پژوهش با استفاده از استاندارد ACI318-14 [34] انجام پذیرفت. برای ساخت نمونه‌ها از قالب‌های استوانه‌ای با قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر استفاده شد. همچنین نمونه شاهد بدون اضافه کردن پودر کربنات کلسیم ضایعاتی آماده شد و نمونه‌های بعدی با اضافه‌کردن پودر با درصدهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ به جای سیمان ساخته شد. نمونه‌ها در حوضچه آب عمل‌آوری قرار داده شدند و در زمان‌های مشخص مقاومت فشاری آن‌ها از تقسیم نیروی شکست قرائت شده از دستگاه جک فشاری کالیبره شده (شکل ۷). مقاومت فشاری بتن سخت شده ۲۸ و ۵۶ روزه، اندازه‌گیری شد و ثبت گردید.



شکل ۷ آزمون مقاومت فشاری نمونه‌ها توسط جک

آزمایش مقاومت کششی

به منظور تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها، آزمایش تست برزیلی با استاندارد ASTM C496-96 [35] انجام شد. طریقه انجام آن به این صورت است که نمونه به صورت افقی بین دو صفحه دستگاه قرار گرفته و نیروی شکست به صورت عمودی به قطر نمونه‌ها وارد می‌شود و نمونه‌ها به دو نیم تقسیم می‌شوند. (شکل ۸). نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد ۲۰۰ * ۱۰۰ میلی‌متر با درصدهای مختلف جایگزینی پسماند آهک کربناته ساخته شد و پس از انجام این تست، نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفت. برای محاسبه مقدار مقاومت کششی σ_t باید از رابطه زیر استفاده شود:

$$\sigma_t = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times t} \qquad (۱)$$

P: بار در لحظه شکست (نیوتن)

d: قطر نمونه (میلی‌متر)

t: ضخامت نمونه آزمایش در مرکز آن (میلی‌متر)



شکل ۸. آزمایش مقاومت کششی (تست برزیلی)

نتایج و بحث

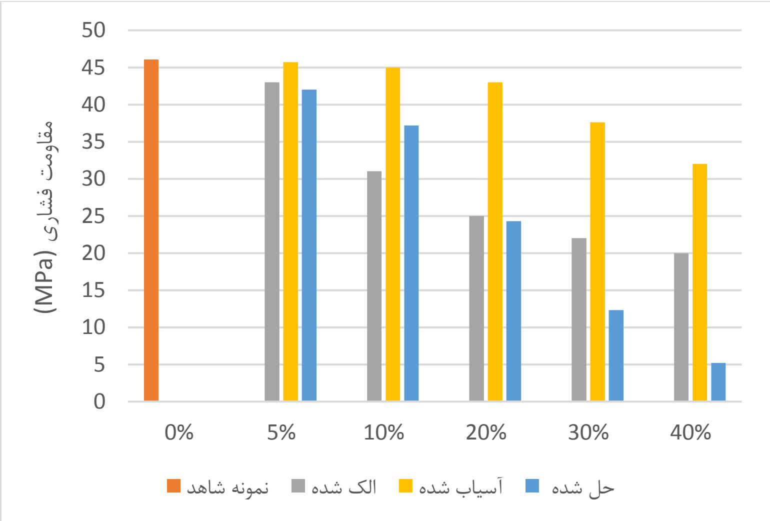
نتایج مقاومت فشاری

پودر آهک کربناته ضایعاتی کارخانجات قند، به سه روش در بتن سبز جایگزین سیمان گشت و نتایج مقاومت فشاری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت (نمودار شکل‌های ۹ و ۱۰). نتایج حاکی از آن است که روش حل کردن آهک کربناته در آب طرح اختلاط، کمترین میزان مقاومت فشاری را به همراه دارد. به عنوان مثال نتایج نشان می‌دهند که مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر، به ترتیب حدود ۴۷ و ۴۹ درصد کاهش یافته است. در این روش نرخ کاهش مقاومت نمونه‌های حاوی بیش از ۲۰ درصد کیک کربناته، به سرعت افزایش یافت، به طوری که مقاومت فشاری نمونه‌های ۵۶ روزه با ۳۰ و ۴۰ درصد پودر ضایعاتی، نسبت به نمونه‌های شاهد، به ترتیب حدود ۷۰ و ۹۰ درصد کاهش داشت. در طرح اختلاط با روش حل کردن، آب توسط پودر آهک کربناته جذب شده و برای مخلوط کردن و روان کردن اجزای دیگر مثل سیمان و سنگ‌دانه، رطوبت کافی در اختیار نبود. دلیل دیگر این کاهش قابل ملاحظه مقاومت فشاری را می‌توان واکنش‌های شیمیایی ایجاد شده بین آب و کیک کربناته دانست. با توجه به خاصیت آهکی بالای کیک کربناته، با حل شدن در آب طرح اختلاط، مواد آهکی شکفته شده و این امر باعث کاهش بیشتر مقاومت بتن می‌گردد.

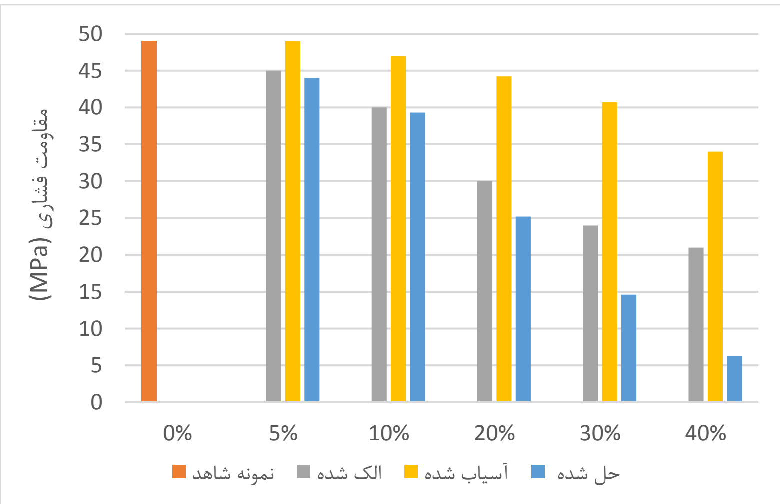
نتایج به دست آمده از بتن تولید شده با کیک کربناته به روش الک کردن نشان دهنده کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر به ترتیب حدود ۴۵ و ۳۸ درصد می‌باشند. در این روش نرخ کاهش نمونه‌های بیش از ۲۰ درصد کیک کربناته، نسبت به روش حل کردن وضعیت بهتری دارند؛ به طوری که مقاومت فشاری نمونه‌های با ۳۰ و ۴۰ درصد پودر ضایعاتی ۵۶ روزه، نسبت به نمونه‌های شاهد، در این روش به ترتیب حدود ۵۰ و ۶۰ درصد کاهش داشت. در روش الک کردن، از نظر شکل ظاهری و آب انداختگی بتن در هنگام ساخت، تفاوت چشم‌گیری بین مخلوط‌ها به وجود آمد. در این روش موادی که روی الک باقی می‌ماند، عمدتا کلوخ‌های آهکی بوده که به واسطه الک، از پودر ضایعاتی جدا می‌گردند. این امر سبب تفاوت مخلوط با نمونه اولیه و کاهش درصد آهک آن و در نتیجه کاهش مقاومت بتن می‌گردد.

گرچه نتایج حاصله از مقاومت فشاری نمونه‌ها، در هر سه روش حاکی از کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها با افزایش کیک کربناته به مخلوط بتن بود، نتایج نشان داد استفاده از کیک کربناته به روش آسیاب کردن، بهترین روش استفاده از کیک کربناته در بتن می‌باشد، چرا که خاصیت آهکی مواد حفظ شده و بهترین واکنش شیمیایی را در تشکیل بتن هنگام ترکیب با آب

و سایر مصالح از خود نشان داده است. نتایج آزمایش‌های فشاری ارائه شده در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان می‌دهند که در روش آسیاب کردن، مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر، به ترتیب حدود ۶٫۵ و ۱۰درصد کاهش داشته است، که این امر نشان می‌دهد که در روش آسیاب کردن جایگزینی کیک کربناته تا حداقل ۲۰ درصد وزنی سیمان، بدون کاهش چشم‌گیر مقاومت بتن می‌باشد و این نتیجه قابل قبولی می‌باشد. مقاومت فشاری نمونه‌های با ۳۰ و ۴۰ درصد پودر ضایعاتی در این روش، نسبت به نمونه‌های شاهد، به ترتیب حدود ۱۷ و ۳۰ درصد کاهش داشت که نسبت به دو روش قبل تفاوت چشم‌گیری را نشان می‌دهد. در کار مشابهی که پیش از این توسط غریب و راشد [25] انجام شد، مقاومت فشاری نمونه‌های با ۱۰ درصد پودر ضایعاتی ۲۸ روزه، نسبت به نمونه‌های شاهد، حدود ۶ درصد کاهش داشت که این میزان در نمونه با ۱۰ درصد پودر ضایعاتی ۲۸ روزه به روش آسیاب کردن در این تحقیق، حدود ۲ درصد می‌باشد و از تقارب قابل قبولی برخوردار است. همچنین در این روش مقاومت فشاری نمونه‌های با ۵ و ۱۰ درصد پودر ضایعاتی ۵۶ روزه، نسبت به نمونه‌های شاهد، به ترتیب صفر و حدود ۴ درصد کاهش داشت که این نتایج می‌تواند ارزشمند و حائز اهمیت باشد.



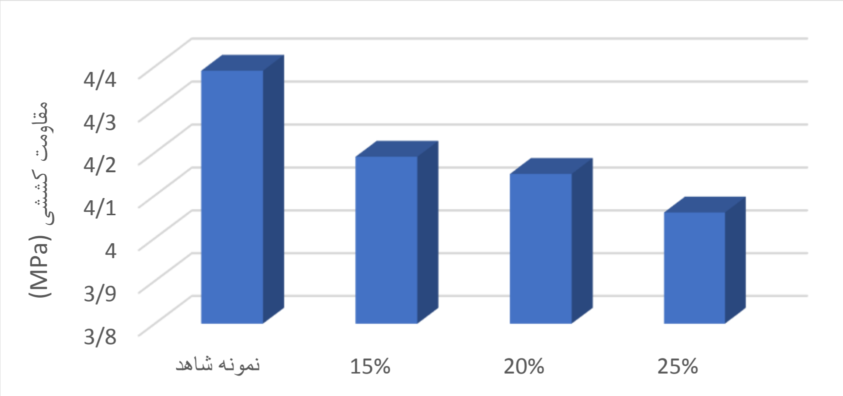
شکل ۹ مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی با درصدهای متفاوت کیک کربناته



شکل ۱۰ مقاومت فشاری ۵۶ روزه نمونه‌های بتنی با درصدهای متفاوت کیک کربناته

جدول ۷ نتایج مقاومت کششی

نام نمونه	بارکششی P (گسیختگی) (N)	مقاومت کششی برزیلی (MPa)	درصد کاهش
نمونه شاهد	۱۳۸۰۰۰	۴,۳۹	–
نمونه حاوی ۱۵ درصد کیک کربناته	۱۳۱۵۰۰	۴,۱۹	۴,۵
نمونه حاوی ۲۰ درصد کیک کربناته	۱۳۰۳۵۰	۴,۱۵	۵,۴
نمونه حاوی ۲۵ درصد کیک کربناته	۱۲۷۵۰۰	۴,۰۶	۷,۵



شکل ۱۱ نمودار مقاومت کششی بر حسب درصد های مختلف کیک کربنات کلسیم

نتایج مقاوت کششی

با توجه به اینکه در مرحله قبل، روش آسیاب شده بهترین روش برای اضافه کردن پودر کیک کربناته به بتن تشخیص داده شد، برای تعیین مقاومت کششی بتن، پودر کیک کربناته تنها با روش آسیاب شده به بتن اضافه شد. نتایج نمونه‌هایی که تحت آزمایش کشش برزیلی قرار گرفتند، در جدول (۷) و نمودار شکل (۱۱) آورده شده است و نشان می‌دهد که جایگزینی پسماند آهک کربناته با مقداری از سیمان کاهش چشم‌گیری در مقاومت کششی بتن معمولی ندارد. می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت کششی نمونه‌های بتنی با افزایش پودر پسماند آهک کربناته نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت اما این کاهش تا جایگزینی ۲۰ درصد وزنی از کیک کربناته نسبت به بخش استحکام دهنده بتن چشم‌گیر نیست.

خلاصه

در این تحقیق بـرای تعیـین بهتـرین روش اضـافه کـردن کیـک کربناته به بتن، کیک کربناته با سـه روش متفـاوت شـامل حـل کردن در آب طرح اختلاط، الک کـردن وآسـیاب کـردن مـورد استفاده قرار گرفت. پـس از انجـام آزمـایش‌هـای آزمایشـگاهی تعیین مقاومت‌های فشاری و کششی با درصدهای مختلف کیک کربناته نتایج ذیل حاصل شد:

۱) بدترین نتایج مربوط به نمونه‌های بتنی ساخته شده با کیک کربناته حل شده در آب می‌باشد. نتایج حاصله از مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با این روش حاکی از کاهش چشم‌گیر مقاومت فشاری نمونه‌ها با افزایش کیک کربناته به مخلوط بتن است. به عنوان مثال نتایج نشان می‌دهند که مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی اضافه شده با این روش نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر، به ترتیب حدود ۴۷ و ۴۹ درصد کاهش یافته است.

۲) بهترین روش استفاده از کیک کربناته در بتن، استفاده از کیک کربناته آسیاب شده است و جایگزینی آن تا حداقل ۲۰ درصد وزنی سیمان، بدون کاهش چشم‌گیر مقاومت بتن امکان‌پذیر می‌باشد. به عنوان مثال در روش آسیاب شده، مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر، به ترتیب حدود ۶,۵ و ۱۰ درصد کاهش داشته است.

۳. مقاومت کششی نمونه‌های بتنی با افزایش پودر کیک کربناته

نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت اما این کاهش تا جایگزینی ۲۰ درصد وزنی کیک کربناته نسبت به بخش استحکام دهنده بتن چشم‌گیر نیست. به عنوان مثال مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر حدود ۵٫۴ درصد کاهش داشته است.

۴. به نظر می‌رسد استفاده از کیک کربناته به دلیل خاصیت آهکی خود در مصالح دیگر ساختمانی نیز کاربرد داشته باشد و از این منظر قابل پیگیری است.

واژه نامه

ریزدانه (ماسه)	Fine agg.
تأثیرات زیست‌محیطی	Environmental Impact
بازیافت	Recycling
ضایعات کارخانه قند	Sugar factory waste
بتن سبز	Green Concrete
کیک کربناته	CK
سیمان پرتلند	PC
درشت‌دانه (شن)	Coarse agg

سپاسگزاری

نهایت تشکر و قدردانی به شرکت بنیاد بتن اصفهان به ویژه مدیریت محترم شرکت، آقای دکترحاج رسولیها و آقای مهندس صادقی، همچنین کارشناسان و پرسنل آزمایشگاه بنیاد بتن به ویژه آقایان مهندس سخنور، کوچک نژاد و محمدی و شرکت قند نقش جهان به ویژه آقای دکتر دژبخش و آقای دکتر خیام و دیگر بزرگواران دست اندر کار تقدیم می‌گردد.

مراجع

[1] J. A. Becerra-Duitama, D. Rojas-Avellaneda, "Pozzolans: A review", *Engineering and Applied Science Research*, vol. 49, no. 4, pp. 495-504, (2022).

[2] C. B. Sisman, E. Gezer, "Performance characteristics of concrete containing natural and artificial pozzolans", *J Food Agr Env* 9, no. 2, pp. 132-136, (2011).

[3] G. Pachideh, M. Gholhaki and H. Ketabdari, "Effect of pozzolanic wastes on mechanical properties, durability and microstructure of the cementitious mortars", *Journal of Building Engineering*, vol. 29, pp.101178, (2020). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101178

[4] M. Gholhaki, M. Sharbatdar and G. Pachideh, "An experimental investigation into the mechanical performance and microstructure of cementitious mortars containing recycled waste materials subjected to various environments", *Journal of Building Engineering*, vol. 61, pp. 105275, (2022). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105275

[5] G. Huang, D. Pudasainee, R. Gupta and W. V. Liu, "Utilization and performance evaluation of molasses as a retarder and plasticizer for calcium sulfoaluminate cement-based mortar", *Construction and Building Materials*, vol. 243, pp. 118201, (2020). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118201

[6] X. Gao, Y. Yang and H. Deng, "Utilization of beet molasses as a grinding aid in blended cements", *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 9, pp. 3782-3789, (2011). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.041

[7] B. Ali, L. A. Qureshi, "Durability of recycled aggregate concrete modified with sugarcane molasses", *Construction and Building Materials*, vol. 229, pp. 116913, (2019). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116913

[8] P. Puligundla, C. Mok, "Valorization of sugar beet pulp through biotechnological approaches: recent developments", *Biotechnology Letters*, vol. 43, no. 7, pp. 1253-1263, (2021). https://doi.org/10.1007/s10529-021-03146-6

[9] B. Joanna, B. Michal, D Piotr, W. Agnieszka, K. Dorota and W. Izabela, "Sugar beet pulp as a source of valuable

biotechnological products", In *Advances in biotechnology for food industry*, pp. 359-392. Academic Press, (2018). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811443-8.00013-X

[10] P. Borysiuk, I. Jenczyk-Tolloczko, R. Auriga and M. Kordzikowski, "Sugar beet pulp as raw material for particleboard production", *Industrial Crops and Products*, vol. 141, pp. 111829, (2019). https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111829

[11] C. Caliceti, M. Malaguti, L. Marracino, M. C. Barbalace, P. Rizzo and S. Hrelia, "Agri-food waste from apple, pear, and sugar beet as a source of protective bioactive molecules for endothelial dysfunction and its major complications", *Antioxidants*, vol. 11, no. 9, pp. 1786, (2022).https://doi.org/10.3390/antiox11091786

[12] M. Aljabri, S. Alharbi, R. |N. Al-Qthanin, F. M. Ismaeil, J. Chen and S. F. Abou-Elwafa, "Recycling of beet sugar byproducts and wastes enhances sugar beet productivity and salt redistribution in saline soils", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 45745-45755, (2021). https://doi.org/10.1007/s11356-021-13860-3

[13] M. Benbati, M. El Hansali, E. El Azhari, M. Mounsif, A. Haddioui, B. Benjelloun and A. Keli, "Effects of the incorporation of ensiled sugar beet pulp in the diet on lambs fattening performance." *Options Méditerranéennes*, vol. 125, pp. 413-415, (2021).

[14] H. Diao, A. Jiao, B. Yu, J. He, P. Zheng, J. Yu, D. Chen, "Beet pulp: an alternative to improve the gut health of growing pigs", *Animals*, vol. 10, no. 10, pp. 1860, (2020). https://doi.org/10.3390/ani10101860

[15] L. F. Wang, E. Beltranena and R. T. Zijlstra, "Diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs fed sugar beet pulp", *Animal Feed Science and Technology*, vol. 211, pp. 145-152, (2016). https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.11.005

[16] M. M. Salman, A. A. Muttar, "The mechanical properties of Lime Concrete." *Journal of Engineering and Sustainable Development*, vol. 21, no. 2, pp. 180-191, (2017).

[17] M. Cao, X. Ming, K. He, L. Li and S. Shen, "Effect of macro-, micro-and nano-calcium carbonate on properties of cementitious composites—A review." *Materials*, vol. 12, no. 5, pp. 781, (2019). https://doi.org/10.3390/ma12050781

[18] I. Maruyama, W. Kotaka, B. N. Kien, R. Kurihara, M. Kanematsu, H. Hyodo, T. Noguchi, "A new concept of calcium carbonate concrete using demolished concrete and CO2", *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 19, no. 10, pp. 1052-1060, (2021). https://doi.org/10.3151/jact.19.1052

[19] P. A. Adesina, F. A. Olutoge, "Structural properties of sustainable concrete developed using rice husk ash and hydrated lime", *Journal of Building Engineering*, vol. 25, pp. 100804, (2019). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100804

[20] M. Soleimani Dashtaki, A. Heydari, M. Fadaei Dah Cheshmeh, "The effect of limestone on compressive and bending strength of cement. " *Fifth National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management*, K. N. Toosi University of Technology, Iran, December 2-3, (2018), (In Persian).

[21] D. Mostofinejad, H. H. Nazari Monfared, "Adding slag and limestone powder to concrete to increase its durability in sulfate environment", *Transportation research paper, scientific-research quarterly*, third year, no.2, (2006). (In Persian)

[22] K. Phuyal, U. Sharma, J. Mahar, K. Mondal and M. Mashal, "Reducing Carbon Footprint with Precipitated Calcium Carbonate (PCC) in Geotechnical Applications", *Preprints*, pp. 2023091674,(2023). https://doi.org/10.20944/preprints202309.1674.v1

[23] M. Soydal Ulku, M. Esen, "Evaluation of sugar mill lime waste in biobased epoxy composites." *Polymer Composites*, 39, no. 3, pp. 924-935, (2018). https://doi.org/10.1002/pc.24019

[24] A. M. Rashad, M. Gharieb, H. Shoukry, M. M. Mokhtar, "Valorization of sugar beet waste as a foaming agent for metakaolin geopolymer activated with phosphoric acid", *Construction and Building Materials*, vol. 344, pp. 128240, (2022). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128240

[25] A. M. Rashad, S. R. Zeedan, M. Gharieb, "Appreciation of sugar beet waste in metakaolin geopolymer mortar for compressive strength and drying shrinkage", *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 37, pp. 101429, (2024). https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101429

[26] Z. Sapronova, S. Sverguzova, E. Fomina, E. Fokina, "Carbonate-containing precipitate of sugar production from sugar beet as filler for polymer concrete." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 365, no. 3, pp. 032042, (2018).

[27] H. Li, W. Xu, X. Yang and J. Wu, "Preparation of Portland cement with sugar filter mud as lime-based raw material." *Journal of Cleaner Production*, 66, pp.107-112, (2014). https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.003

[28] H. Karimi Dehkordi, A. Heydari, "Investigating the use of lime waste instead of sand in concrete. " *1st Urban Services and Environment Conference*, Ferdowsi University, Mashhad, Iran, October 8, (2013), (In Persian).

[29] H. Karimi Dehkordi, A. Heydari, "Application of lime waste from sugar factories as stone material in concrete production." *1st International Conference on Environmental Crises and Its Solutions*, Islamic Azad University Science and Research, Khuzestan Branch, Ahvaz, February 13-14, (2012). (In Persian)

[30] M. Gharieb, A. M. Rashad, "An initial study of using sugar-beet waste as a cementitious material." *Construction and Building Materials*, vol. 250, pp. 118843, (2020). https://doi.org/10.3390/su152014694

[31] K. Phuyal, U. Sharma, J. Mahar, K. Mondal and M. Mashal, "A sustainable and environmentally friendly concrete for structural applications", *Sustainability*, 15, no. 20, pp. 14694, (2023). https://doi.org/10.3390/su152014694

[32] National Standard No. 302 - Characteristics of concrete aggregates, *Iran National Standards Organization*, Third Revision, (2015). (In Persian)

[33] Ministry of Roads and Urban Development, Road, Housing and Urban Development Research Center, The National Method for Concrete Mix Design, *Road, Housing and Urban Development Research Center* ,Third Edition, (2006). (In Persian)

[34] ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.

[35] ASTM C496-96 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.